



УДК 622.83

## ОЦЕНКА СКЛОННОСТИ МАССИВА ПОРОД НА КМА К ГОРНЫМ УДАРАМ ASSESSMENT OF ROCK MASS ADDICTION TO KMA TO ROCK BURSTS

**С.В. Сергеев<sup>1</sup>, И.В. Синица<sup>2</sup>, В.Ф. Карякин<sup>3</sup>**  
**S.V. Sergeev<sup>1</sup>, I.V. Sinita<sup>2</sup>, V.F. Karyakin<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Белгородский государственный университет, Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

<sup>2</sup> ОАО «ВИОГЕМ», Россия, 308007, г. Белгород, ул. Б. Хмельницкого, 86

<sup>3</sup> Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46

<sup>1</sup> Belgorod State National Research University, 85 Pobeda St, 308015, Belgorod, Russia,

<sup>2</sup> OAO "VIOGEM", 86 B. Khmel'nitsky St, Belgorod, 308007, Russia

<sup>3</sup> V.G. Shukhov Belgorod State Technological University  
46 Kostyukov St, Belgorod, 308012, Russia

E-mail: [Sergeev@bsu.edu.ru](mailto:Sergeev@bsu.edu.ru)

**Ключевые слова:** массив пород, деформации, напряжения, метод щелевой разгрузки.

**Key words:** rock mass, deformation, stress, method of discharge slit.

**Аннотация.** Изложена методика оценки склонности пород к горным ударам на месторождениях КМА. Приведены результаты измерения вертикальных и горизонтальных напряжений в кварцитах Михайловского месторождения в выработках дренажной шахты ГОКа. Измерения проводились методом щелевой разгрузки и методом определения напряжений на больших базах. Исследованиями установлено, что напряжения в массиве не превышают предельно-допускаемых. Поэтому массив пород в районе выработок дренажной шахты не относится к склонным к горным ударам.

**Resume.** The technique estimates the propensity to rock bursts in the fields of KMA. The results of measurements of the vertical and horizontal stresses in the quartzites of Mikhailovsky deposit in the workings of the mine drainage GOK. The measurements were performed by a slit discharge and method for determining stress on large data-bases. Research has shown that the stresses in the array does not exceed the maximum allowed. Therefore, an array of rocks in the workings of the mine drainage does not belong to prone to rock bursts.

### Введение

В связи с увеличением глубины разработки железных руд на КМА до 500 м возникла необходимость оценки склонности массива пород и руд к горным ударам. Такие явления возникают в зонах литологических разновидностей пород, на участках складчатого залегания массива и местах сопряжений горных выработок. На КМА еще в 70-х годах прошлого века было установлено наличие горизонтальных тектонических напряжений в кварцитах шахты им. Губкина на глубинах 350 м [Казикаев, 1983].

Лабораторией горного давления и сдвижения горных пород ОАО «ВИОГЕМ» проведены измерения напряжений в кварцитах, на основе которых, выполнена оценка склонности их к горным ударам. Исследования проведены согласно [Федеральная служба ..., 2013, 2014].

### Методы исследований

Для определений напряжений в массиве нами применялся метод щелевой разгрузки, который относится к геомеханическим методам. Этот метод применяется в крепких, упругих, слабо-трещиноватых породах и рудах, когда вблизи контура выработки не образуется зона неупругих деформаций. С помощью метода щелевой разгрузки определяют напряжения в борту подготовительной выработки: вертикальные ( $\sigma_v$ ), действующие вдоль контура выработки, и горизонтальные ( $\sigma_x$ ) действующие вдоль оси выработки.

Метод щелевой разгрузки основан на измерении деформаций массива, возникающих при создании в нем полости в виде щели продолговатой формы. Измерения абсолютных деформаций производились механическим тензометром конструкции ЦНИИС, с точностью до 0.01 мм. Схемы определений деформаций приведены на рисунке 1.

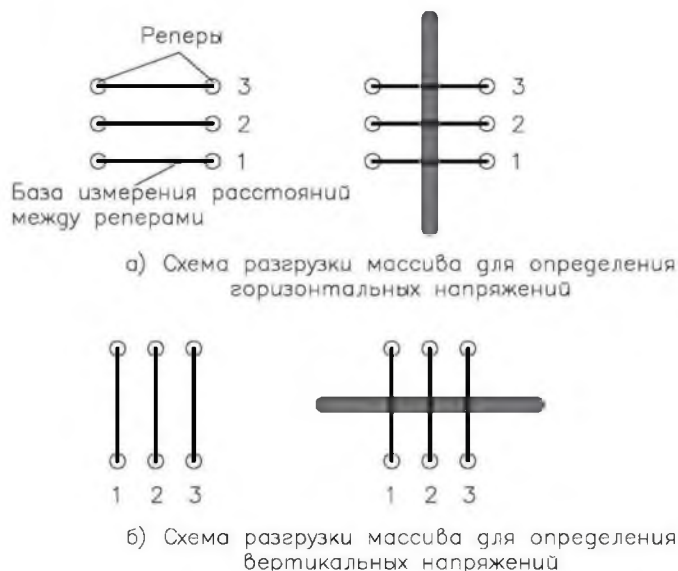


Рис. 1. Схемы расположения маяков для щелевой разгрузки  
Fig. 1. Layout beacons to discharge slit

Расчет напряжений  $\sigma$  по измеренным на контуре выработки деформациям, выполняется по формуле [Влох, 1994]:

$$\sigma = \frac{\Delta L E \pi}{8R - L\pi(1 - k_1 + vk_2)}, \quad (1)$$

где  $\Delta L$  – сближение реперов после образования разгрузочной щели на базе измерения деформаций  $L$  (расстояние между реперами), см;  $E$  – модуль упругости, МПа;  $v$  – коэффициент Пуассона;  $R$  – радиус щели, см;  $k_1$ ,  $k_2$  – коэффициенты концентрации напряжений в направлении перпендикулярно и параллельно щели.

При невозможности выполнения щелевой разгрузки из-за слоистости или трещиноватости массива применяется метод разгрузки массива на больших базах. При этом закладка реперов для измерения величины конвергенции осуществлялась в период обустройства забоя выработки. Для этого по линии сопряжения стенки с забоем бурились 3 шпура диаметром 40 мм глубиной 1 м под углом  $45^\circ$  к стенке выработки, в них закреплялись круглые металлические анкера соответствующей длины и диаметра (рис. 2).

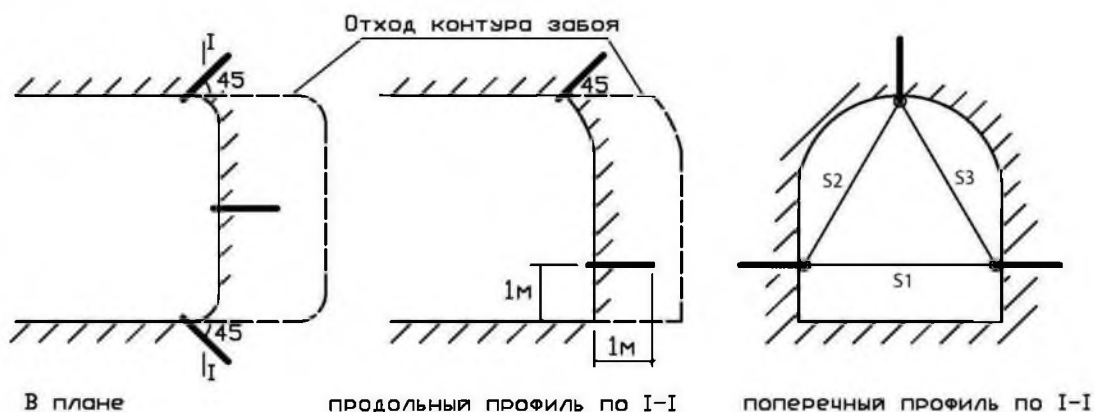


Рис. 2. Схема измерения деформаций на больших базах  
Fig. 2. Scheme for measuring deformations in large databases

Первый цикл измерения расстояний между реперами  $H_1 = (S_1; S_2; S_3)$ . Второй цикл измерений  $H_2 = (S_1'; S_2'; S_3')$  производился после взрыва и уборки скоплений горной породы. По разностям величины  $H_1 - H_2$  были определены величины конвергенции стенок выработки ( $\Delta S_1; \Delta S_2; \Delta S_3$ ). Измерения выполнялись несколько раз в процессе отхода забоя на расстояние 2-х диаметров выработки от замерной станции.

Расчет напряжений по измеряемым деформациям на большой базе выполнялись по формулам [Казикаев, 1983]:

для максимальных напряжений:

$$\sigma_{\max} = E \cdot \left[ \frac{(\varepsilon_{S_1}^0 + \varepsilon_{S_{21}}^0 + \varepsilon_{S_3}^0)}{3(1-\mu)} + \frac{1}{1+\mu} \sqrt{\left( \varepsilon_{S_3}^0 - \frac{\varepsilon_{S_1}^0 + \varepsilon_{S_{21}}^0 + \varepsilon_{S_3}^0}{3} \right)^2 + \left( \frac{\varepsilon_{S_1}^0 - \varepsilon_{S_2}^0}{\sqrt{3}} \right)^2} \right]; \quad (2)$$

для минимальных напряжений:

$$\sigma_{\min} = E \cdot \left[ \frac{(\varepsilon_{S_1}^0 + \varepsilon_{S_{21}}^0 + \varepsilon_{S_3}^0)}{3(1-\mu)} - \frac{1}{1+\mu} \sqrt{\left( \varepsilon_{S_3}^0 - \frac{\varepsilon_{S_1}^0 + \varepsilon_{S_{21}}^0 + \varepsilon_{S_3}^0}{3} \right)^2 + \left( \frac{\varepsilon_{S_1}^0 - \varepsilon_{S_2}^0}{\sqrt{3}} \right)^2} \right], \quad (3)$$

где:  $\varepsilon_{S_1}^0$ ,  $\varepsilon_{S_{21}}^0$ ,  $\varepsilon_{S_3}^0$  – относительные деформации разгрузки массива по профилям  $S_1$ ;  $S_2$ ;  $S_3$ .

### Результаты исследований

Определение напряжений методом щелевой разгрузки проводились в околоствольной выработке наклонного ствола на горизонте – 225 м. Здесь на стенках выработки были выбраны участки с ровной поверхностью и были установлены репера для измерения горизонтальных и вертикальных деформаций (рис. 3, 4).

По результатам проведенных наблюдений получены следующие результаты: горизонтальные деформации разгрузки в среднем составили – 0.20 мм, а вертикальная в среднем – 0.76 мм.

Расчеты вертикальных и горизонтальных напряжений выполнялись по [Казикаев, 1983], при следующих исходных данных:

- 1) абсолютные деформации:  $\Delta L = 0.02$  см (горизонтальные);  $\Delta L = 0.076$  см (вертикальные);
- 2) модуль упругости:  $E = 83700$  МПа, коэффициента Пуассона  $\mu = 0.23$  (по данным ВИОГЕМ);



Рис. 3. Измерение горизонтальных деформаций механическим тензометром после разгрузки массива

Fig. 3. Measurement of mechanical strain gauge horizontal deformation after unloading array



Рис. 4. Общий вид горизонтальной щели для определения вертикальной деформации разгрузки

Fig. 4. A general view of a horizontal slit to determine the vertical deformation of discharge

3) геометрические параметры необходимые для расчета  $R=30$  см;  $L=30$  см;

4) коэффициенты учитывающие концентрацию напряжения в массиве, согласно [Влох, 1994]:  $k_1=0$ ,  $k_2=0.1$ .

Расчет горизонтальных напряжений в стенке выработки:

$$\sigma_{\Gamma} = \frac{0.020 * 83700 * 3.14}{8 * 30 - 30 * 3.14(1 - 0 + 0.23 * 0.1)} = 34.8 \text{ МПа}$$

Расчет вертикальных напряжений в стенке выработки:

$$\sigma_{\text{в}} = \frac{0.076 * 83700 * 3.14}{8 * 30 - 30 * 3.14(1 - 0 + 0.23 * 0.1)} = 132.4 \text{ МПа}$$

Анализ результатов показывает, что максимальное значение напряжений имеет направление близкое к вертикальной оси выработки. То есть вертикальные и горизонтальные напряжения являются главными.

Полученные значения напряжений меньше чем предел прочности на сжатие:  $\sigma = 186$  МПа для железистых кварцитов. Определим отношение горизонтальных и вертикальных напряжений к пределу прочности на сжатие.

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{гор}} / \sigma_{\text{сж}} &= \frac{355 \text{ кгс/см}^2}{1860 \text{ кгс/см}^2} = 0.19; \\ \sigma_{\text{вер}} / \sigma_{\text{сж}} &= \frac{1350 \text{ кгс/см}^2}{1860 \text{ кгс/см}^2} = 0.73; \end{aligned}$$

Это соотношение не превышает значения 0.8, что, свидетельствует об отсутствии склонности пород на исследуемом участке к горным ударам.

Определение напряжений массива по измеренным деформациям на больших базах проводилось в забое выработки отстойника №2. Здесь массив пород характеризуется слоистым залеганием, при котором метод щелевой разгрузки применить невозможно. Для измерений на контуре забоя по треугольной сетке были установлены три репера из стальных стержней диаметром 36 мм и длиной 0.9 м. Схема расположения реперов показана на рис. 5.

Измерение расстояния на базах между реперами выполнялось маркшейдерами дренажной шахты с помощью электронного тахометра и маркшейдерской рулетки.



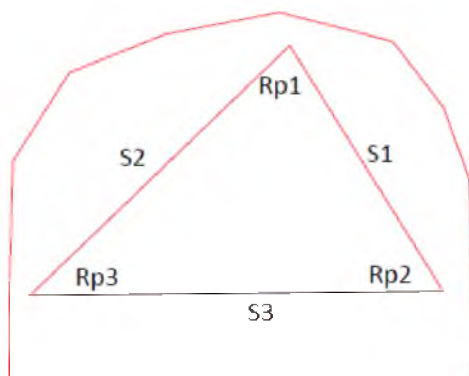


Рис. 5. Схема расположения реперов в забое выработки  
Fig. 5. Layout of frames in the working face

Расстояние между реперами до взрыва:  $S_1=2.447$  м;  $S_2=2.972$  м;  $S_3=3.209$  м.

По измеренным значениям абсолютных деформаций  $\Delta S_1=0.003$  м;  $\Delta S_2=0.002$  м;  $\Delta S_3=0.001$  м, определены соответствующие им относительные деформации массива после разгрузки на большой базе.

$$\varepsilon_{S_1}^0 = \frac{\Delta S_1}{S_1} = \frac{0.003}{2.447} = 0.00123$$

$$\varepsilon_{S_2}^0 = \frac{\Delta S_2}{S_2} = \frac{0.002}{2.972} = 0.00067$$

$$\varepsilon_{S_3}^0 = \frac{\Delta S_3}{S_3} = \frac{0.001}{3.209} = 0.00031$$

Определение основных компонентов напряжений по измеренным деформациям выполнялись по (2) и (3) с использованием модуля упругости слоистого массива пород  $E=42500$  МПа и коэффициента Пуассона  $\mu=0.23$ :

$$\sigma_{\max} = 425 \times 10^2 \cdot \left[ \frac{(0.00031 + 0.00123 + 0.00067)}{3(1 - 0.23)} + \frac{1}{1 + 0.23} \times \sqrt{\left( 0.00031 - \frac{0.00031 + 0.00123 + 0.00067}{3} \right)^2 + \left( \frac{0.00123 - 0.00067}{\sqrt{3}} \right)^2} \right] = 71.9 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\min} = 425 \times 10^2 \cdot \left[ \frac{(0.00031 + 0.00123 + 0.00067)}{3(1 - 0.23)} - \frac{1}{1 + 0.23} \times \sqrt{\left( 0.00031 - \frac{0.00031 + 0.00123 + 0.00067}{3} \right)^2 + \left( \frac{0.00123 - 0.00067}{\sqrt{3}} \right)^2} \right] = 11.4 \text{ МПа}$$

В результате расчета получены:

- вертикальные напряжения в массиве 71.9 МПа;
- горизонтальные напряжения в массиве 11.4 МПа.

### Заключение

Выполненные исследования напряженно-деформированного состояния железистых кварцитов Михайловского месторождения позволяют сделать следующие выводы:

1. Массивы железистых кварцитов на наблюдаемых участках не относятся к склонным по горным ударам, поскольку:



а) выполняется условие, приведенное в [Федеральная служба ..., 2014], согласно которого соотношение  $\sigma_{гор} / \sigma_{сж}$  не превышает 0.8. В нашем случае: для вертикальных напряжений это соотношение – 0.73, а для горизонтальных – 0.19.

б) горизонтальные напряжения в массиве в четыре раза меньше, чем вертикальные:  $\sigma_{гор}=355$  кгс/см<sup>2</sup> и  $\sigma_{в}=1350$  кгс/см<sup>2</sup>. Это свидетельствует об отсутствии тектонических напряжений.

2. Аналогичные исследования необходимо проводить и на других горных предприятиях КМА.

### Список литературы

### References

1. Влох Н.П. 1994. Управление горным давлением на подземных рудниках. М., Изд-во «Недра», 208.

Vloh N.P. 1994. Upravlenie gornym davleniem na podzemnyh rudnikah [Management of rock pressure in underground mines]. Moscow, Izd-vo «Nedra», 208. (in Russian)

2. Казикаев Д.М. 1983. Геомеханические процессы при совместной и повторной разработке руд. М., Издательство «Недра», 288.

Kazikaev D.M. 1983. Geomechanicheskie processy pri sovmestnoj i povtornoj razrabotke rud [Geomechanical processes at the joint and re-development ore]. Moscow, Izd-vo «Nedra», 288.

3. Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. 2013. Приказ №216 от 23.05.2013 г. об утверждении «Методических рекомендаций по оценке склонности рудных и нерудных месторождений к горным ударам».

Federal'naja sluzhba po jekologicheskomu, tehnologicheskomu i atomnomu nadzoru [Rostekhnadzor]. 2013. Order №216 from 23.05.2013, on approving the "Guidelines on the assessment inclination of metallic and nonmetallic deposits to rock bursts".

4. Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. 2014. Приказ №576 от 02.12.2013 г. об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Положение по безопасному ведению горных работ на месторождениях, склонных и опасных по горным ударам».

Federal'naja sluzhba po jekologicheskomu, tehnologicheskomu i atomnomu nadzoru [Rostekhnadzor]. 2014. Order №576 from 12.02.2013 on Approval of Federal Regulations in the field of industrial safety "Regulations for the safe conduct of mining operations at the fields, prone and dangerous impact on the mountain".